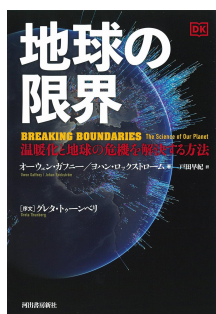


本棚

後沢 昭範



「地球の限界」

オーウェン・ガフニー、ヨハン・ロックストローム著
河出書房新社、2022年2月発行、347ページ、
3,135円

●じりじり進む地球温暖化・遅れる対策

今夏も連日の猛暑と各地の豪雨災害、海外でも記録破りの熱波と干魃、大規模な山火事、その一方で猛烈な豪雨や突風、大規模な洪水等に見舞われ、地球の温暖化、更に、気象の極端化・激甚化を肌で感じざるを得ませんでした。

農業の現場でも、高温による作物の減収や品質の低下、開花や収穫時期の異変、カメムシ等害虫の異常発生、また、各地で豪雨による農地の水没や流失等々、気の休まらない1年でした。先々続くかとも思うと、緩和策・適応策へと気が急きます。

大気中の温室効果ガス濃度の上昇に伴う気候変動への危機意識を背景に、WMO（世界気象機関）とUNEP（国連環境計画）の下に、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が設立されたのが1988年。今や195カ国・地域の参加を得て、気候変動に関する最新の科学的知見を取りまとめ、各国政府の取組を促す存在となりました。

2023年発表の『第6次IPCC評価報告書』では、“人間の影響が気候システムを温暖化させて来たのは疑う余地が無い！”と断言しています。国連では「気候変動枠組条約締約国会議（COP）」を28回も重ねて来ましたが、各国が提示した温室効果ガスの排出削減目標と対策計画では、目指す“今世紀末の気温上昇を産業革命前と比べて1.5℃に抑える！”には到底及ばず、いま一步踏み込んだ各国の提示待ちの状況です。

この問題は、各国のこれまでの経緯や利害・思惑が絡み合って一筋縄では行きません。かと言って足並みが揃わなければ、何れは気温が上昇して共倒れです。終息の気配を見せない国際紛争や内戦、また、目先の自国第一主義の台頭が足を引っ張ります。

●見えて来た地球の限界

思い起こせば、国際的シンクタンクのローマクラブが『成長の限界』と題した報告書を発表し、“人口増加や環境汚染など、現在の傾向が続けば、100年以内に地球上の成長は限界に達する！”と予測・警告し、世界に衝撃を与えたのが、半世紀前の1972年でした。

しかし、人口は増え続け、経済活動は一層拡大し、消費生活は更なる豊かさを求め、指数関数的に膨張し続けて来ました。その結果が、昨今の気候温暖化や気象激甚化、野生生物の激減や絶滅危惧種の急増等々、尋常でない現象というか、事態です。

ここに至り、“人間活動が、地球の復元力を超える域に踏み込んでしまった！”と考えざるを得ず、“自然をただで利用し、廃棄物を無遠慮に捨てて来たツケが一気に吹き出して来た！”と言えましょう。

ここで何とか踏み止まり、行き過ぎを止め、モノによっては復元しないと大変なことになりそうです。では、何とかなるのでしょうか。間に合うのでしょうか。

●本書は…

気合いの入った副題「温暖化と地球の危機を解決する方法」ですが、原題は「Breaking Boundaries : The Science of Our Planet」と、オーソドックスです。

地球史的な視点から地球の生命維持システムについて述べる〔第1幕（1～4章）〕、それが人間の所為で壊れかかっていることを示す〔第2幕（5～8章）〕、私達が果たすべき使命を語る〔第3幕（9～16章）〕と、舞台仕立ての3幕16章。かなりボリュームがありますが、3幕を通して地球の限界(Planetary Boundary)の自覚と“責任ある地球管理(Planetary Stewardship)”に向けた人類の道程について語ります。その背景には、これまでの様に、“無限の成長を信じて資源を掘り出し、廃棄物を排出し続けていては、もはや文明は長続きしない！”

という、切迫した危機感があります。

著者Owen Gaffney氏は、ポツダム気候影響研究所とストックホルム・レジリエンスセンターを拠点に、地球の持続可能性をテーマに活動する著述家。Johan Rockstrom氏は、ポツダム大学教授、ストックホルム大学教授、ポツダム気候影響研究所所長を務める地球システムの研究者で、NHKの科学番組にも登場し、直近では、東京大学・理化学研究所共催の「Global Commons Forum」でも基調講演をされました（2024.10.8）。

序文は、スウェーデンの環境活動家グreta女史、国連のグテーレス事務総長の寄稿で始まります。科学的裏付けをベースに、大きな視点でまとめられており、地球温暖化の実態と解決策に向けた「基本図書」との評もあります。内容が壮大で多岐に亘り、且つ相互に関連しますが、触りの一部を、断片的ですが、別資料も手元に、覗いてみましょう。

● 第1幕…壮大な地球史から見えて来るのは… ● 藍藻類の大繁殖…光合成で大気中の酸素が生成

先ずは、聞き慣れない表現ですが、地球史を通して見えて来る、壮大かつ精密な地球の生命維持システムについてです。

〔45億年前に太陽系の惑星として生まれた灼熱の原始の地球。隕石が降り注ぎ、海も無く、生命も無く、大気は高温・高圧の二酸化炭素と水蒸気など〕⇒〔やがて冷えるにつれ海が出現、程なく38億年前、酸素不要の単細胞生物：古生菌が生まれます〕⇒〔そして25億年前、光合成で酸素を放出する藍藻類：シアノバクテリアが生まれ、地球システムを根本的に変えて行きます〕。大気中の酸素濃度が徐々に高まり、やがて上空にはオゾン層が形成されて有害な紫外線も遮られ、生物が陸上で暮らせる途が拓けたのです。

● 二酸化炭素濃度を軸に気温が上下…壮大なサーモスタット

同時に、冷えて来た地球の気候激変が始まります。〔地球全体が氷に覆われるスノーボールアース〕→〔極地には氷があるアイスハウスアース〕→〔極地にも氷が無いホットハウスアース〕→反復し→最終3回目のスノーボールアースが6億年前に終わります。

一見あり得ない様なこの現象は、幾つかの仮説の上に、要因が重複・連鎖して複雑なのですが、極々大雑把に端折ると、〔降水と地表岩石の化学風化

が相まって大気中の二酸化炭素が海に吸収・沈積〕→〔大気の温室効果が低下して寒冷化が進行〕→〔ついに全球凍結して海の二酸化炭素吸収はストップ〕→〔一方、火山活動による二酸化炭素の放出は続き〕→〔大気中の二酸化炭素濃度は徐々に上昇〕→〔やがて温室効果で気温は上昇し解氷〕。と言った具合で、正と負のフィードバックが反復したと考えられています。大気中の二酸化炭素濃度を軸にした壮大なサーモスタットです。

● 極端化しなかった地球の気温…生物多様性の大発展へ

さて、全球凍結は原生動物の大量絶滅を招きましたが、その後、5億年前になると地球上の生命の多様性は爆発的に広がります（カンブリア大爆発）。先ず、海で多様化し、やがて陸へ進出し、最初にコケ類やシダ類、次に種子植物や両生類、そして爬虫類が現れます。

恐竜の2億年近い全盛に終止符を打つ小惑星の衝突まで5回、火山の爆発や隕石の衝突で大量絶滅が起きています。度々の地球環境の激変にも拘わらず、生命が存続し得たのは、地球それ自体の化学的、物理的、地質的、生物学的メカニズムが、気温の極端化にブレーキを掛け、生命が存続し得る範囲に引き戻して来たからに他なりません。

● 膨張する人類の活動…地球環境を大改変・圧迫

この流れの中で、哺乳類も緩やかに進化して繁栄の途を辿って来たのですが、極めて特異な存在として、人類は、農業・科学・産業という独自の革命を経て、地球環境を加速度的に変えつつあります。地球の安定性を保つプロセスが各所で限界に達し始めたのです。たった一つの種が、あらゆる方向から地球の環境を不可逆的に変えようとしています。

別資料からですが、過去260万年の間、地球は氷期と間氷期を繰り返して来ました。産業革命前までの80万年間で見ると、大気中の二酸化炭素濃度は、氷期：180ppm～200ppm、間氷期：おおよそ280ppmと、ほぼ一定でした。それが、産業革命以降、僅か250年間で418ppm（50%増）になり、それに連動して気温も上昇しているのです。地球史的な時間軸で見れば、一瞬にして起きた大事件です。

蛇足ですが、最近の研究によれば、恐竜が跋扈した白亜紀は、大気中の二酸化炭素濃度が1000ppm程で、気温は今より10℃程高かったと推測されてい

ます。

第2幕…新たな地質年代・地球の限界…

「人新世」の提唱…地層にも歴然・1950年以降の地球大異変

第2幕は、地球の健康状態に関する近年の研究成果です。其処から導き出されたのは“地球の生命維持システムの変化が悪い方へ加速している”という結論です。著者は“文明を支える安定した地質年代「完新世」は、バックミラーの中に消えつつある”と訴えます。これは由々しき事態です。大きなところを見てみると…。

地質年代区分で言えば、私達は1万年前の最終氷期終了以降の、温暖で安定した「完新世」に生きて来たのですが、人間活動による環境の激変振りが地層にも現れるに至ったことから、“新たに「人新世」を設けるべき”との議論が、学会で始まっています。

具体的には、世界各地で採取した地層コアが、1950年代から明確に変化しているのです。その原因は、化石燃料の高温燃焼で発生した球状炭化粒子、農地から流出した化学肥料で異常繁殖した藻類や植物プランクトンの死骸、あらゆる分野で大量に使われる様になったプラスチック、長年に亘って採掘・使用を続けて来た重金属類、更には、かつての核実験で拡散・降下した放射性物質…、これらが沈積して、新しい地層区分になりそうなのです。

自然現象によるものではなく、一つの生物種が引き起こしたという意味で、地球史始まって以来の出来事です。人間が地球を圧倒する存在になった証でしょう。地球の資源を指数関数的に大量に消費し、廃棄する様になった結果ですが、気懸かりは、この暴走。容易には止まりそうにありません。

●「プラネタリー・バウンダリー」の提唱…既に幾つも赤信号

2009年、著者を含む環境学者らが、行き過ぎた人間活動に警鐘を鳴らし、踏み止まらせるべく、科学的なガイドライン「プラネタリー・バウンダリー (Planetary Boundaries)」を提唱しました。“地球の環境に変化（特に人間の影響）が加わっても、元に戻って安定した状態を保てる限界”を示す指標ですが、これを以て、地球の健康診断 (Planetary Health Check) を行おうというものです。

具体的には、地球の状態の制御システム・プロセスとして、〔気候変動〕〔新

規人工物〕〔成層圏オゾンの破壊〕〔大気エアロゾルの負荷〕〔海洋酸性化〕〔生物地球化学的循環〕〔淡水使用〕〔土地システムの変化〕〔生物圏の健全性〕の9項目を挙げています。

項目毎に、人間が及ぼす影響を定量的に評価して限界点を見極めていますが、本書の出版時点で、既に〔気候変動〕〔生物圏の健全性〕〔土地システムの変化〕〔生物地球化学的循環〕の4項目が限界値超えでしたが、その後〔新規人工物〕〔淡水使用〕も加わって計6項目が限界値を超えて危険域に入っているとされます。地球は弱っています。

このプラネタリー・バウンダリーの考え方は、2015年に国際サミットで制定された「SDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標)」のベースともなっています。

●「第6の大量絶滅」の危機…地球史5回の大量絶滅に続き

限界値を超えた6項目をザッと見てみると。まず、最も身近で、実感を伴う〔気候変動〕に関しては、大気中の二酸化炭素濃度350ppm～450ppmを限界値としていますが、“既に420ppmに達しており、近年の気候の温暖化と気象の激甚化はご案内の通り”です。

〔生物圏の健全性〕は、生物圏の多様性や働きの健全性を保つために、生物の絶滅速度と生産物の利用率を指標にしていますが、最近目にした驚くべき数字があります。人間活動が原因で、“世界の野生動物（脊椎動物）の個体数がここ50年で既に7割減少（世界自然保護基金発表）”、また“地球上の全動植物の1/4が脆弱な状態にあり、今後数10年以内に100万種に絶滅の可能性（国連発表）”等が指摘されています。巨大隕石の衝突や火山の大噴火等の自然現象が原因だった過去5回の大量絶滅とは異なり、人間が元凶の「第6の大量絶滅」が危惧されているのです。

●森林の減少、水資源の枯渇、N,Pの流出、廃プラの残留…

これとも深く関連する〔土地システムの変化〕に関しては、自然生態系の保全と回復力の保護のために森林の利用限界を示すものとして、産業革命前の75%を限界値としていますが、“既に60%までに減少”しています。因みに、地球上の29%が陸地で、その71%が生息可能地ですが、その内訳は、森林38%に対し、農用地46%（耕作地15%、放牧地31%）、都市1%で、残り

14%は草原等です。世界を見れば、今も森林は伐採され、焼き払われ、農用地や採掘用地、更にスプロール化する都市に供され続けています。

また、〔淡水使用〕に関しては、群を抜いた農業用を筆頭に、工業用、生活用と、世界中で日々大量に消費されており、国際河川の水争い、湖沼の干上がり、都市部の地下水汲上による地盤沈下等々、世界各地で逼迫しています。

〔生物地球化学的循環〕は、大気や水、土壌の清浄さを守るために、窒素や磷の限界値を定めたものですが、中でも問題になっているのが、農地から出る化学肥料由来の窒素と磷です。増え続ける食料需要を賄うために使用量が増え、限界値を大幅に上回っています。

〔新規人工物〕は、人工的に作り出された膨大な種類の化学物質による環境汚染を防ぐのが目的ですが、近年、注目されているのがプラスチックです。特に海洋でのマイクロプラスチックの悪影響が懸念されています。

地球の安定を当然の様に思って来た私達ですが、この様に整理して示されると、“地球環境が、これ以上はない程の危機に直面していること（しかも自分達の所為で）”を実感せざるを得ません。

第3幕…いま為すべき事…

「責任ある地球管理」…プラネタリー・スチュワードシップ

第3幕は“私達の使命”についてです。“人類は地球の優れた管理者になる必要がある。さもなければ、それ程長くは存在し続けられないだろう”と著者は断言します。今後10年間で人類が下す決断は、これからの1万年に影響します。

本書の半分程が第3幕に割かれていますが、“為すべき事”の一つ一つが1冊の本になる大きな内容です。此处では、その考え方と枠組みのご紹介に留めます。

では、プラネタリー・バウンダリーの範囲内で、人類が生き延びるには、どうしたら良いのか。言うべくして難しいのは承知の上で、“これまでの国民国家的な考え方を超え、人類一体となった行動で地球環境の崩壊を食い止める”しかありません。

先ずは“意識改革”からです。これまで、国家の管轄権を超えた4ゾーン（南極・宇宙・公海・大気）に適用される法的概念として“グローバル・コモンズ（Global Commons）”がありましたが、それを再定義して“生物圏を含め

た地球環境全体に広げ、「責任ある地球管理（Planetary Stewardship）」の対象とする”必要があるのです。世界観をリセットした上で、“地球を安定させるために、具体的に何を為すか”という事です。

●「アースショット構想」…6つのシステム変革

そこで登場するのが「アースショット（Earth shot）構想」です。“地球環境問題の解決に向かう革新的な政策や技術”を内容とし、6つのシステム変革〔エネルギー・食料・格差・都市・人口と健康・テクノロジー〕を提言します。

システム変革の第1は〔エネルギー〕。言うまでもなく化石燃料からの脱却であり、エネルギー転換による温室効果ガスの排出抑制です。第2は〔食料〕。何れ100億人超えが見込まれる世界人口を、環境負荷の軽減を図りつつ、プラネタリー・バウンダリーの範囲内で、如何にして養うのかの問題です。現在の飢餓人口と今後の増加人口分を賄うには、更に50%増の食料が必要になるとされます。古来、農業は土地と水の圧倒的ユーザー、そこに化学肥料と農薬の使用が加わったのが今日の姿です。その意味で、農業は、自然環境に対し最も大きな影響を与え続けて来たと言えます。今後、環境負荷軽減のために環境保全型農業への切替、土地利用効率の面から作物と畜産とのバランスの再考、食品ロスの軽減等々への取組が急務とされます。

更に、国家間・個人間に生じた極端な経済〔格差〕の是正、世界人口の半数以上が集中して成長と混沌を抱える〔都市〕の再編・整備、将来100億人に達するであろう〔人口と健康〕問題への対応、そして、成長の鍵・現状打破の鍵であると同時に常に新たな問題も生じる〔テクノロジー〕の考え方や進め方が提示されます。

この考え方や実行は、国連が提唱する「SDGs」の取組と一体化しています。目標を表す17色のカラーホイールのピンバッジは日本でもお馴染みになりましたが。

●何とも難儀な、それでも何とか…

本書の中で、グテーレス国連事務総長の言葉、「最後に一つ問いたい。あなたは自分の子供達にどんな世界を残したいだろうか…」が心に迫ります。

同時に、世界の飢餓人口7億人、電気を使えない人口7億人、人口ピークに向かって更に20億人の増、“これから豊かになりたい人々がまだまだ大勢い

る”という現実があります。また、世界中、あらゆる分野で導入が広がるAIの活用は更なる膨大な電力消費を伴います。“More Energy Less Carbon”の解は容易ではありません。

加えて、世界の状況は、ロシアのウクライナ侵略やパレスチナの武力制圧を始め各地の紛争や内戦、国家間の経済制裁の応酬、あからさまな自国第一主義、資源の争奪、社会の分断や格差の拡大等々、“グローバル・コモンズの再定義”とは程遠い実態もあります。

さはさりながら、今、ここで環境負荷を減らさなければ、“地球温暖化への不可逆な道へ入り込んでしまう”という切羽詰まった現実があります。どれも現実、何とも難儀な、でも、何とかやるしかありません。スピードとスケールが勝負です。

● 5,600万年前の超温暖化極大事件(PETM) ●

ところで、トピックス的な情報ですが、第1幕で登場する「暁新世-始新世の超温暖化:PETM (Paleocene-Eocene Thermal Maximum)」は興味深い現象です。

地質年代で言うと、恐竜が絶滅した6,600万年前から現代までが〔新生代〕で、更にその中が〔暁新世〕→〔始新世〕→〔完新世 (1.2万年前～現代)〕と7区分されます。

PETMは、暁新世から始新世に移る頃…今から5,600万年前に起きた“急激な地球温暖化イベント”のことです。地球全体の平均気温が短期間に5～9℃上昇し、海洋も炭酸塩の溶解で酸性化し、海洋・陸上の生態系も激変しました。温室効果ガスの急増による極端な自然現象です。この時の温室効果ガスの起源は、海底火山活動によるメタンハイドレートの融解・放出説、また新説として、火山活動に伴って放出された二酸化炭素説も発表されています。メタンは強力な温室効果ガスですが、数十年後には酸化されて二酸化炭素になり、引き続き温室効果を発揮します。なお、今日の人為的な温室効果ガスの排出ペースは、当時のそれより一桁多いと推定されており、「これで何も起こらないと思う方がおかしい!」との研究者の声もあります。

それはそれとして、注目されるのは、その後〔海洋の生物生産が増大し〕→〔大気-海洋系から余分な二酸化炭素が除去され〕→〔温暖化が終息している〕ことです。つまり、海洋の表層で、プランクトンの光合成が活発化し

て大気中の二酸化炭素を取り込み、遺骸は海底に堆積し…を延々と繰り返し、やがては大気中の二酸化炭素濃度が元の状態に戻って行くという“地球システムの負のフィードバック”と言われる現象です。

ということで、スケールは違いますが、現在の地球温暖化との類似性から“今後の温暖化の帰趨に示唆を与えるもの”として、研究者の間で注目されています。

「エッ、自然に元に戻るんだって♪」と、一瞬、朗報ですが、なにぶん地質年代的な話です。フィードバックに要する時間は数千年とも、1万年とも…。また、化石燃料を掘り出して温室効果ガスを盛大に排出する様な悪い生き物が居ないこと！が前提です。

【資料箱】

「大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化」気象庁

気象庁の観測データを基に、大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化を示したものです。現在、発表されているのは大雨関係ですが、順次、更新されます。

それによると、大雨の年間発生回数は有意に増加しており、より強度の強い雨ほど増加率が大きくなっています。具体的には、1時間降水量80mm以上、3時間降水量150mm以上、日降水量300mm以上など、強度の強い雨は、1980年頃と比較して、概ね2倍程度に頻度が増加しています。グラフで見ると、素人目にも明らかです。

気象庁 | 大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化 (jma.go.jp)